

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-084944

(43)Date of publication of application : 30.03.2001

(51)Int.Cl.

H01J 37/22
G06T 1/00
G06T 3/00
H01J 37/21
H01J 37/28
H01L 21/66
H04N 1/387

(21)Application number : 2000-201443

(22)Date of filing : 29.06.2000

(71)Applicant : HITACHI LTD

(72)Inventor : TAKANE ATSUSHI
YODA HARUO
TODOKORO HIDEO
SATO MITSUGI

(30)Priority

Priority 11195375 Priority 09.07.1999 Priority JP

(54) CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a sample image focused over the whole or a certain two-dimensional region for providing the two-dimensional image, without blurring all over the image by composing the two-dimensional image of the sample as viewed from the direction of a discharge particle beam source, based on a signal of a part where the charged particle beam is focused among signals outputted from a charged particle beam detector.

SOLUTION: Each signal outputted from a charged particle detector is stored for different focus to calculate an arbitrary characteristic amount indicating degree of coincidence of focus from the stored signals, and the characteristic amount is compared between the same coordinates of signal of different focus to form a two-dimensional image. In a semiconductor sample comprising a contact hole, a copy of two-dimensional image which is focused over the entire sample can be made, by picking up both the image focused on a surface of the semiconductor sample and the image focused on a bottom surface of the contact hole, and extracting a coincident part of focus from each image to make a single composite image.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 23.10.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-84944

(P2001-84944A)

(43) 公開日 平成13年3月30日 (2001.3.30)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テマコード* (参考) |
|--------------------------------------|-------|---------------|-------------|
| H 0 1 J 37/22 | 5 0 2 | H 0 1 J 37/22 | 5 0 2 H |
| G 0 6 T 1/00 | 3 0 0 | G 0 6 T 1/00 | 3 0 0 |
| | 4 0 0 | | 4 0 0 D |
| 3/00 | 3 0 0 | 3/00 | 3 0 0 |
| H 0 1 J 37/21 | | H 0 1 J 37/21 | B |
| 審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 15 頁) 最終頁に続く | | | |

(21) 出願番号 特願2000-201443(P2000-201443)

(22) 出願日 平成12年6月29日(2000.6.29)

(31) 優先権主張番号 特願平11-195375

(32) 優先日 平成11年7月9日(1999.7.9)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 高根 淳

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株

式会社日立製作所計測器グループ内

(72) 発明者 依田 晴夫

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株

式会社日立製作所計測器グループ内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

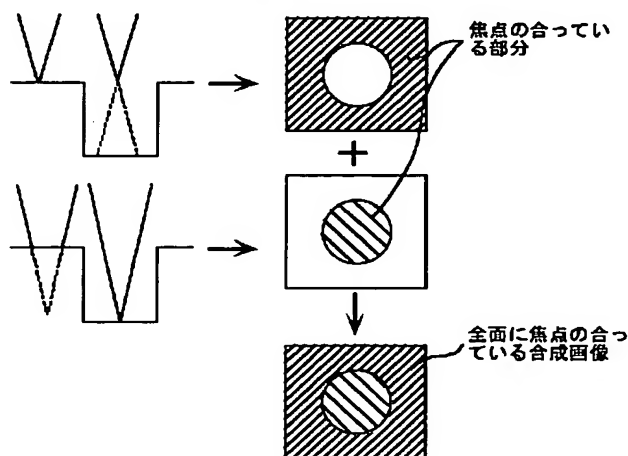
(54) 【発明の名称】 荷電粒子線装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、試料像の全体に亘って焦点が合った像を得ることにあり、全体に亘ってぼけのない2次元像を獲得できる走査電子顕微鏡の提供にある。

【解決手段】 上記課題を解決するために、本発明は荷電粒子源より放出された荷電粒子線の焦点を変更する手段と、前記試料の荷電粒子線の照射個所で得られる荷電粒子を検出する荷電粒子検出器と、当該荷電粒子検出器から出力される信号の内、前記荷電粒子線が合焦した部分の信号に基づいて前記荷電粒子線源方向から見た試料の2次元像を合成する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置を提供する。

図 4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】荷電粒子源と、当該荷電粒子源より放出された荷電粒子線を試料上で走査する走査偏向器と、前記荷電粒子源より放出された荷電粒子線の焦点を変更する手段と、前記試料の荷電粒子線の照射個所で得られる荷電粒子を検出する荷電粒子検出器と、当該荷電粒子検出器から出力される信号の内、前記荷電粒子線が合焦した部分の信号に基づいて前記荷電粒子線源方向から見た試料の 2 次元像を合成する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 2】請求項 1 において、前記荷電粒子検出器から出力される信号を異なる焦点毎に記憶し、当該記憶された信号の中から焦点合致度を示す任意の特徴量を算出し、当該特徴量を異なる焦点の信号の同じ座標間で比較し、当該比較に基づいて前記 2 次元像を形成することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 3】請求項 2 において、前記特徴量は、前記異なる焦点毎の信号に基づく画像の画素間の微分値、或いは絶対微分値であって、異なる焦点毎の画像の同じ座標間の前記微分値、或いは絶対微分値を比較し、当該値が大きい画像の画素値を前記 2 次元像の画素値とすることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 4】請求項 2 において、前記特徴量は、前記異なる焦点毎の信号に基づく画像の画素間の微分値、或いは絶対微分値であって、異なる焦点毎の画像の同じ座標間の前記微分値、或いは絶対微分値を比較し、当該値の比率で画素値を合成し、前記 2 次元像を形成することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 5】請求項 2 において、前記特徴量は、前記異なる焦点毎の信号に基づく画像の画素間の微分値、或いは絶対微分値であって、異なる焦点毎の画像の同じ座標間の前記微分値、或いは絶対微分値を比較し、当該値の比率に所定の重み付けを行い画素値を合成し、前記 2 次元像を形成することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 6】請求項 2 において、前記特徴量は、前記異なる焦点毎の信号に基づく画像にソーベルフィルタを施した画素値に基づくものであることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 7】荷電粒子源と、当該荷電粒子源より放出された電子線を試料上で走査する走査偏向器と、前記荷電粒子源より放出された荷電粒子線の焦点を段階的に変更する手段と、前記試料の荷電粒子線の照射個所で得られる荷電粒子を検出する荷電粒子検出器と、当該荷電粒子検出器から出力される信号を焦点毎に記憶する記憶媒体と、当該記憶媒体から焦点の合った部分の信号を選択的に読み出し、当該読み出した信号に基づいて前記荷電粒子線の光軸と垂直な方向に広がる 2 次元像を構築する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 8】荷電粒子源と、当該荷電粒子源より放出された荷電粒子線を試料上で走査する走査偏向器と、前記

荷電粒子源より放出された荷電粒子線の焦点を段階的に変更する手段と、前記試料の荷電粒子線の照射個所で得られる電子を検出する荷電粒子検出器と、当該荷電粒子検出器から出力される信号を前記段階的に変更される焦点毎に記憶する複数のフレームメモリと、当該複数のフレームメモリの同じアドレスの信号値を比較し、その中で高いフォーカス評価値を示す信号を選択し、当該信号をアドレス毎に配列して試料像を形成する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 9】荷電粒子線の焦点を調節する手段と、前記電子線の照射によって試料像を構築する走査荷電粒子顕微鏡において、調節された焦点毎に得られる試料像を記憶する記憶媒体と、当該記憶媒体に記憶された試料像の特定領域を選択的に読み出す手段と、当該読み出し手段によって読み出された異なる焦点の領域を組み合わせ、前記荷電粒子線の光軸と垂直な方向に広がる 2 次元像を構築する手段とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 10】荷電粒子源と、当該荷電粒子源より放出された荷電粒子線を試料上で走査する走査偏向器と、前記荷電粒子源より放出された荷電粒子線の焦点を段階的に変更する手段と、前記試料の荷電粒子線の照射個所で得られる荷電粒子を検出する荷電粒子検出器と、当該荷電粒子検出器から出力される信号を焦点毎に記憶する記憶媒体と、当該記憶媒体から焦点の合った部分の信号を選択的に読み出し、当該読み出した信号に基づいて前記荷電粒子線の光軸と垂直な方向に広がる 2 次元像の合成し、当該合成を前記荷電粒子線の焦点を変更する処理に並行して行う手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 11】請求項 10 において、前記合成の過程を表示する表示手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 12】請求項 11 において、前記荷電粒子線の前記試料に対する照射を外部から停止する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 13】荷電粒子線の焦点を調節する手段と、前記荷電粒子線の試料上への走査に基づいて試料像を構築する荷電粒子線装置において、調節された焦点毎に得られる試料像を記憶する記憶媒体と、当該記憶媒体に記憶された試料像の特定領域を選択する手段と、当該選択手段によって選択された領域の試料像を異なる焦点の試料像、或いは他の像に置換する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 14】荷電粒子源と、当該荷電粒子源から放出される荷電粒子線を試料に収束して照射するレンズと、前記荷電粒子線の照射個所で得られる二次荷電粒子を検出する検出器と、当該検出器で得られた荷電粒子に基づいて試料像を表示する表示装置と、当該表示装置に表示される試料像の特定位置毎の荷電粒子線照射方向の位置

情報を記憶する手段と、表示装置の表示画面上の任意の個所を指定する指定手段と、前記指定手段によって指定された少なくとも2つの個所の位置情報に基づいて、両者間の前記荷電粒子線照射方向の距離を算出する手段とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項15】荷電粒子線の焦点を調節する手段と、前記荷電粒子線の試料上への走査に基づいて試料像を構築する手段と、当該試料像に基づいて、前記試料上の観察対象の寸法測定を実行する手段とを備えた荷電粒子線装置において、調節された焦点毎に得られる複数の試料像を記憶する記憶媒体と、前記複数の試料像から特定の試料像を選択し、当該選択された試料像の中の或る一定以上のフォーカス評価値を示す画素を試料像として形成する手段と、当該手段によって形成された試料像に基づいて前記寸法測定を実行することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項16】荷電粒子源と、当該荷電粒子源より放出された荷電粒子線を試料上で走査する走査偏向器と、前記荷電粒子源より放出された荷電粒子線の焦点を変更する手段と、前記試料の荷電粒子線の照射個所で得られる複数の異種荷電粒子を検出する複数の荷電粒子検出器と、当該荷電粒子検出器から出力される信号の内、前記荷電粒子線が合焦した部分の信号に基づいて前記荷電粒子線源方向から見た試料の2次元像を合成する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項17】請求項16において、前記荷電粒子検出器から出力される信号を異なる焦点毎に記憶し、当該記憶された信号の中から焦点合致度を示す任意の特徴量を算出し、当該特徴量を異なる焦点の信号の同じ座標間で比較し、当該比較に基づいて前記2次元像を形成することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項18】請求項16において、前記複数の荷電粒子検出器によって同時に検出される複数の異種信号を異なる焦点毎に記憶し、当該記憶された複数の異種信号の内の一つから焦点合致度を示す任意の特徴量を算出し、当該特徴量を異なる焦点の信号の同じ座標間で比較し、当該比較に基づいて、検出された他の種類の信号からなる前記2次元像を形成することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項19】請求項16において、特徴量比較において、比較が良好に行えない場合、検出された別の異種信号を比較し、当該比較に基づいて前記2次元像を形成することを特徴とする荷電粒子線装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は荷電粒子線装置に係り、特に荷電粒子線を照射した結果得られる画像の焦点を適正に調節する機能を備えた荷電粒子線装置に関する。

【0002】

【従来の技術】走査電子顕微鏡等の荷電粒子線装置は、微細化の進む半導体ウェハ上に形成されたパターンの測定や観察に好適な装置である。ところで、半導体ウェハ等の多層化に伴い、試料がより3次元的な広がりを持つようになり、例えば試料上に形成されるコンタクトホール等もより深い穴が形成されるようになってきた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】走査電子顕微鏡等の荷電粒子線装置は、ビームを細く絞って試料上に照射する装置であり、試料上に適正に焦点を合わせる（合焦する）必要がある。しかしながら、昨今の半導体ウェハの多層化に伴い、例えば試料表面とコンタクトホール底面の寸法差はより大きくなり、荷電粒子線の適性な焦点距離が試料表面とコンタクトホール底面とでは異なるという問題が生じてきた。即ち試料表面に合せて焦点を合わせるとコンタクトホール底面の焦点が合わなくなり、結果コンタクトホール底面の像がぼけてしまうという問題があった。

【0004】なお、特開平5-128989号公報には、立体対象物に対し焦点を変化させて電子線を照射し、フォーカスのあった部分の輪郭を抽出して立体像を構築する技術が開示されている。このような装置で例えばコンタクトホールの底を含む試料の2次元像を観察しようとした場合、コンタクトホールの輪郭しか表示されないため、試料表面とコンタクトホール底部の状況を観察することができない。

【0005】また、他の例として特開平5-299048号公報に開示の技術があるが、当該技術は、基本的に凹凸画像の輪郭を抽出し、等高線表示の様な擬似3次元画像を得ようとするものである。即ち、フォーカスを変えて得られた画像に対して微分処理を施し、その値に対して、一定の抽出レベルを設定し、そのレベルより大きい部分を抽出するものである。

【0006】この処理を、フォーカスを変えて得られた複数の画像に対して行い、最終的にそれらを繋ぎ合わせることで、画像の凹凸の輪郭部分を抽出する。この時、抽出レベル以下の部分に対しては何の考慮もされていない。また、輪郭であるかどうかの評価基準となる抽出レベルは、画像のS/Nや対象の形状に左右されるため一定値に設定することは不可能である。例えば、図16に示す様に、1枚の画像上に2種類の形状の凹凸がある場合、1601の形状は傾斜が急であるため、焦点が合っている部分の微分値は大きくなるが、1602の形状では傾斜が緩やかであるため微分値は小さくなる。したがって、もしこれに対して一定の抽出レベルを当てはめると、レベルの選び方によっては1602の輪郭は抽出されないことになる。このように、適切な抽出レベルが設定できないと抽出されない輪郭部分が出てきてしまう。図16の例は、凹凸が2種類の場合であるが、実際の画像において凹凸は無数にあり、それらの輪郭全てを抽出す

るレベルを設定することは不可能である。

【0007】また、抽出を画像毎に行い、抽出された部分の各画像間の関係に関しては考慮がされていないため、適切な抽出レベルが設定できないと、抽出した部分を繋ぎ合わせて合成画像を作った場合、図17に示す様に画像内に不定領域が出来てしまったり、画像間で重なって抽出されてしまう部分が出てきてしまう。つまり、特開平5-299048号に開示の発明は、抽出レベルの設定が非常に困難である上、各画像間で抽出された部分に対する処理方法が何等考慮されていない。

【0008】本発明の目的は、試料像の全体、或いは或る二次元領域に亘って焦点が合った像を得ることにあり、全体に亘ってぼけのない2次元像を獲得できる荷電粒子線装置の提供にある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、荷電粒子源と、当該荷電粒子源より放出された荷電粒子線を試料上で走査する走査偏向器と、前記荷電粒子源より放出された荷電粒子線の焦点を変更する手段と、前記試料の荷電粒子線の照射個所で得られる荷電粒子を検出する荷電粒子検出器と、当該荷電粒子検出器から出力される信号の内、前記荷電粒子線が合焦した部分の信号に基づいて前記荷電粒子線源方向から見た試料の2次元像を合成する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置を提供する。

【0010】当該構成によれば、試料から得られた荷電粒子の内、焦点が合った部分の荷電粒子2次元領域を選択し、それをもって試料像を形成することができる。即ちビームの走査領域の中で、局所的に焦点の合致した荷電粒子に基づく試料像を構築できるので、局所的に焦点の合っている2次元画像を合成することができる。

【0011】より具体的な一例を挙げると、本発明では焦点を変えて得られた複数枚の画像の同一座標位置の微分値もしくはソーベル値の変化に着目し、それらの最大値を持つ元画像の画素値を焦点合致の画素値とする方法をとる。そのため、合成において不安定なパラメータを設定することがない上、合成されない部分や画像間で重なって抽出されてしまうことがなく、全面に焦点のあった画像を合成することが出来る。

【0012】以下他の例については発明の実施の形態の欄で説明する。

【0013】

【発明の実施の形態】以下の本発明実施例の説明は、荷電粒子線装置の1つである走査電子顕微鏡を例にとって説明するが、これに限られるものではなく、例えばイオンビームを試料上に走査して試料像を得るFIB(Focused Ion Beam)装置のような他の荷電粒子線装置であっても良い。

【0014】図1は、本発明が適用される走査電子顕微鏡を示す図である。この走査電子顕微鏡には自動焦点制

御機能が組み込まれている。図1において、101は試料台、102は試料台上の撮影対象試料、104は陰極、105は走査コイル、106は電子レンズ、108は走査コイル制御回路、109はレンズ制御回路である。電子ビーム114は、走査コイル105によって試料102上を走査され、試料102から発せられた電子は検出器103で検出される。検出器103からの信号S1がAD変換器107に入力されてデジタル信号S2へと変換される。

【0015】S2のデジタル信号は、画像処理プロセッサ110に入力され、画像の微分処理等の画像処理と特徴量の抽出が行われ、その結果は制御用計算機111へ送られる。

【0016】また、処理された画像は、表示装置112へ送られ表示される。制御用計算機111からの焦点制御信号S3は、レンズ制御回路109に入力されレンズ106の励磁電流を調節することで焦点制御を行うことができる。

【0017】113は、制御用計算機111に接続される入力手段である。以上の様に構成されている走査電子顕微鏡での自動焦点制御は、電子レンズの焦点条件を自動的に最適値に設定する制御であり、その方法は、電子レンズの条件を変化させながら、複数枚のフレーム走査を行い得られた2次電子や反射電子の検出信号から焦点評価値を算出、評価し、最適値を電子レンズの条件に設定するものである。図2は電子レンズの条件を変化させた場合のフォーカス評価値の変化を示した図である。

【0018】ここで、焦点評価値には、画素間の微分値等が利用されており、電子レンズの条件を変えながら撮影したフレーム毎に微分値の合計を計算し、その値が一番大きくなった時の電子レンズの条件を焦点が合った条件としている。図2では、電子レンズの励磁電流値がfの時、フォーカス評価値が最大値(Fmax)をとるため、fが焦点のあった条件となる。

【0019】このような自動焦点制御機能を備えた走査電子顕微鏡では以下のような問題がある。第1に、フォーカス評価値をフレーム画像または検出信号に対して一定の処理を施し算出しているため、その値は全体的なものとなっており、局所的な焦点合致に関しては考慮されていない点である。つまり、試料上に凹凸があった場合などその上面の部分と底面の部分では焦点の条件が違ってもかかわらず、自動焦点制御では、どちらか一方に合った条件、もしくはその中間的な条件を最適値として算出してきてしまう。

【0020】第2に自動焦点制御に時間がかかるという問題がある。図2からも分かるようにフォーカス評価値の最適値を探すまでに(図2では最大値を探すまで)、複数枚のフレーム画像を取り込まなければならず、終了するまでに数秒から数十秒の時間が必要であった。

【0021】本発明実施例装置は、特に上記2つの問題

を好適に解決し得る走査電子顕微鏡を提供するためのものであり、以下本発明実施例装置の構成を詳細に説明する。

【実施例1】図3は、本発明が解決する問題点である焦点変動を説明するための図である。半導体試料上にコンタクトホールがある場合、走査電子顕微鏡では、電子ビームの焦点を半導体試料表面に合わせると、アスペクト比の高いコンタクトホール底面では焦点がずれることになる。また、その反対にコンタクトホール底面に焦点を合わせると試料表面では焦点がずれてしまう。現在、走査型電子顕微鏡装置で行われている自動焦点機能では、この様な局所的な焦点変動へ対処することはできず、結局、自動焦点機能で算出してくる焦点位置は試料表面もしくは平均的な位置になってしまう。

【0022】図4は、本発明の合成作成を説明するための概略図である。図3で説明したコンタクトホールを持つ半導体試料において、半導体試料表面に焦点位置を合わせた画像とコンタクトホール底面に焦点位置を合わせ

$$\Delta x y A i, j = \Delta x A i, j + \Delta y A i, j \quad (式1)$$

$$\Delta x y B i, j = \Delta x B i, j + \Delta y B i, j$$

$$\Delta x A i, j = |A i, j - A i + n, j|, \Delta x B i, j = |B i, j - B i + n, j|$$

$$\Delta y A i, j = |A i, j - A i, j + n|, \Delta y B i, j = |B i, j - B i, j + n|$$

501で作成した微分絶対値画像を焦点合致の評価基準とするが、ノイズの影響を抑制するために502で平滑化を施す。503で2画像のどちらに焦点が合っているかを評価し合成画像の作成を行う。ここで、焦点合致の評価方法は、式2に基づき行われる。502で平滑化し

$$[\Delta A] i, j \geq [\Delta B] i, j \rightarrow C i, j = A i, j \quad (式2)$$

$$[\Delta A] i, j < [\Delta B] i, j \rightarrow C i, j = B i, j$$

合成画像 $C i, j$ は、 $A i, j$ と $B i, j$ の焦点合致部分が合成された画像となる。図5では、2枚の画像を合成する場合であるが、 n 枚の画像においては連続する2枚に対して逐次処理していくことで同様の処理を行うことができる。

【0026】図11は本発明の合成処理の概略図である。焦点合致の評価基準をソーベルフイルタによる画素値とした場合の例を示す。画像微分と同様にソーベルフイルタは、画像のエッジ情報を抽出するフィルタであり、ソーベルフイルタを施した後の画素値が大きい場合は、その周りの画素変化が大きいことになる。つまり、それは焦点が合致しボケが少ないことを意味する。1101は、フォーカスを変えて撮影した複数枚の画像であり、1102は、1101のそれぞれの画像にソーベルフイルタを施した画像である。1101に示す各画像は、複数枚用意されたフレームメモリに夫々登録される。

【0027】フレームメモリに登録された1102の複数枚の画像の同一座標上の画素 $S g 1 \sim S g 5$ を比較

た画像を撮影し、それぞれの画像から焦点合致部分を抽出し、1枚の合成画像を作成すれば試料全面に焦点の合った1枚の2次元画像を作り出すことができる。この2枚の画像は例えば2つのフレームメモリに登録される。

【0023】図5は、本発明の焦点合致部分の抽出と合成画像作成を実施する場合の処理フローである。焦点位置をずらした2枚の画像 $A i, j$ 、 $B i, j$ を撮影する。焦点をずらす方法は、図1で説明した様に、制御用計算機111から焦点制御信号 $S 3$ をレンズ制御回路109へ送り、電子レンズ106の励磁電流を調節することで行われる。撮影された2枚の画像に対して、501でそれぞれの微分絶対値画像 $\Delta x y A i, j$ 、 $\Delta x y B i, j$ を作成する。微分絶対値画像の作成には、式1の様に X 方向に n 画素ずらした画素との差の絶対値と Y 方向に n 画素ずらした画素との差の絶対値を加算した値を用いる。

【0024】

た2枚の微分絶対値画像の同一座標の画素値を比較し、大きい画素値を持つ元画像の画素に焦点が合っていると判定する。

【0025】

し、その中で一番大きい画素を検出する。それが $S g 2$ であるとする、合成画像の同一座標上の画素へ $S g 2$ の元画像の画素値である $g 2$ を投影する。この過程を画像上の全座標に対して行い、一番大きな画素を選出し、2次元像として配列することで、1103の合成画像となる。

【0028】図6は、本発明の焦点合致部分の抽出と合成画像作成を実施する別の処理フローである。601、602で図5の501、502と同様に微分絶対値画像の作成とその画像の平滑化を行う。次に、603で2画像のどちらに焦点が合っているかを評価し合成画像の作成を行う。ここで、焦点合致の評価方法は、(式3)に基づき行われる。602で平滑化した2枚の微分絶対値画像の同一座標の画素値を比較し、比較した画素値の比率で元画像の画素値を合成する。図5の方法に比べて、焦点ずれから生じるボケの影響が加わるが、焦点合致部分がA画像からB画像へ切り替わる部分が滑らかになる特徴を持つ。

【0029】

$$C_{i,j} = (A_{i,j} \times [\Delta A]_{i,j} + B_{i,j} \times [\Delta B]_{i,j}) / ([\Delta A]_{i,j} + [\Delta B]_{i,j}) \quad (式3)$$

図7は、本発明の焦点合致部分の抽出と合成画像作成を実施する別の処理フローである。701、702で図5の501、502と同様に微分絶対値画像の作成とその画像の平滑化を行う。次に、703で2画像のどちらに焦点が合っているかを評価し合成画像の作成を行う。ここで、焦点合致の評価方法は、式4に基づき行われる。

$$\begin{aligned} & [\Delta A]_{i,j} \geq [\Delta B]_{i,j} \\ C_{i,j} &= (k \times A_{i,j} \times [\Delta A]_{i,j} + B_{i,j} \times [\Delta B]_{i,j}) / (k \times [\Delta A]_{i,j} + [\Delta B]_{i,j}) \quad (式4) \\ & [\Delta A]_{i,j} < [\Delta B]_{i,j} \\ C_{i,j} &= (A_{i,j} \times [\Delta A]_{i,j} + k \times B_{i,j} \times [\Delta B]_{i,j}) / ([\Delta A]_{i,j} + k \times [\Delta B]_{i,j}) \end{aligned}$$

図6、図7は、2枚の画像を合成する場合であるがn枚の画像においては、n枚の画像の同一座標の微分絶対値、もしくはソーベルフィルタを施した画素値を比較し、その中で一番大きなものと2番目のものに対して同様の処理を行えば良い。

【0031】また、図6、図7は、焦点合致の評価量として微分絶対値を用いているが、ソーベルフィルタを施した画素値を用いても同様の処理フローとすることができる。

【0032】以上のような構成によれば、局所的な焦点合致も考慮された画像面内全ての領域で焦点の合っている2次元画像を簡便な計算手段で合成することができる。また、全画像面内、或いは特定の二次元領域内において漏れなく画素を配列する如き処理を行うことができるので、高分解能の試料像をも構築することができる。

【実施例2】図8は、本発明の一実施例である画像取得と焦点合致部分の抽出と合成画像の作成を並列に行う処理フローである。813は焦点位置つまり電子レンズの励磁電流を時間経過とともに変化させる過程を表わしている。

【0033】時間経過に伴って行う処理を801から812で説明する。a1で撮影を行い801のA1画像を取得する。その画像に対して次の画像撮影a2までの間に803の微分絶対値画像 $\Delta A1$ を作成し、a2において802のA2画像を取得する。次の画像撮影a3との間に804の微分絶対値画像 $\Delta A2$ を作成し、803の $\Delta A1$ と804の $\Delta A2$ を比較し、805で大きい方の微分絶対値を画素とする画像 $\Delta G1$ を作成する。805の $\Delta G1$ をもとに806で微分絶対値の大きい方の元画像の画素値を画素とする画像S1を次の合成のために作成する。ここで、805の $\Delta G1$ をもとに本発明の図5から図7で説明した方法を用いて、807の合成画像F1を作成する。

【0034】F1は図1の表示装置112に表示される。次にa3において808のA3画像を取得する。次の画像撮影a4との間に809の微分絶対値画像 $\Delta A3$

702で平滑化した2枚の微分絶対値画像の同一座標の画素値を比較し、比較した画素値の比率に重み付けを行い元画像の画素値を合成する。図5と図6の中間的な方法である。重み付け係数kが1であると図6の方法であり、1より大きくなる程、図5の方法に近づく。

【0030】

を作成し、805の $\Delta G1$ と比較して、810で大きい方の微分絶対値を画素とする画像 $\Delta G2$ を作成する。この810の $\Delta G2$ をもとに811で微分絶対値の大きい方の元画像の画素値を画素とする画像S2を次の合成のために作成する。ここで、810の $\Delta G2$ をもとに、812の合成画像F2を作成し、F1に連続して表示される。つまり、次の画像取得時には一つ前までに取得した画像の合成画像が完成し表示を行うことになる。同様の繰り返して、撮影、合成処理、表示を並列に実行していくことで、リアルタイムに合成画像を表示することができる。またこのように並列処理することで焦点補正にかかる制御時間を短くすることができ、自動焦点補正制御を高速化することが可能になる。

【実施例3】図14は、本発明実施例装置の表示装置112の表示例を示す図である。当該表示例は半導体ウェハに形成されたコンタクトホール合成処理像を表示したものである。本実施例で採用される装置は図1で説明した構成とほぼ同じであり、先にした説明は省略する。

【0035】なお、本実施例装置にはカーソル1401を表示装置112の表示画面上で動かすポインティングデバイス（図示せず）が設けられている。このポインティングデバイスは表示画面上の特定領域を選択するためのものである。本実施例装置には、このポインティングデバイスによって選択された部分を、他の像と置換する機能が備えられている。当該機能を実例に沿って説明する。

【0036】図14に示す表示装置112には半導体ウェハ上に形成されたコンタクトホールの像が表示されている。この試料像は上述した合成処理が施されている。この表示装置112に表示されたコンタクトホールの中央部1402にカーソル1401を合せて当該部分を選択すると、選択された箇所とほぼ同じ焦点距離の電子線に基づいて像が構築された部分、即ち、異なる複数の焦点毎に登録された元画像の中のある特定の元画像の選択領域が他の像に置換されて表示される。この置換工程は上記特定の画像上に登録され、且つある一定以上のフォ

ーカス評価値を有する画素、或いは選択個所とほぼ同じフォーカス評価値を有する画素のアドレスデータに基づいて実行される。

【0037】このように構成することによって、コンタクトホルルのエッジを明確にすることができる。例えば選択領域（本実施例の場合、ホルルの中央部1402）を黒く表示することで、選択個所以外の部分と明らかにコントラスト差がつくようにする。

【0038】これはコンタクトホルルのエッジ部分の輝度変化があまりないような場合に有効である。画像データに基づいてラインプロファイルを形成し、当該ラインプロファイルに基づいてパターンの測長を行う走査電子顕微鏡の場合、エッジの部分のコントラストが希薄であると、ラインプロファイルに基づくエッジの誤判定を招くという問題があるが、本発明実施例装置の採用によって当該技術課題を解消することが可能になる。

【0039】また、以上の説明では指定領域を他の像と置換することについて説明したが、指定領域の焦点を調節するような構成にしても良い。具体的には表示装置112に表示された合成処理像のコンタクトホルルの中央部1402にカーソル1401を合わせ当該部分を選択する。

【0040】そして当該選択領域の像を形成する特定の元画像であって、且つ或る一定以上のフォーカス評価値を有する画素、或いはカーソル1401による選択個所とほぼ同じフォーカス評価値を有する画素を、他の元画像の同領域に置換する。このような構成によれば、あたかも試料像の特定部分を選択的に焦点調節するような処理が可能になる。

【0041】画像が置換される領域は、カーソル1401によって指定された個所とほぼ焦点が一致する部分、即ち、異なる複数の焦点毎に登録された画像の中のある特定の画像が、登録された他の画像に置換されて表示される。

【0042】また、以上の説明は指定領域とほぼ焦点が一致する部分の画像を置換するものとして説明したが、これに限られることはなく、例えば、試料像のある任意の領域を選択する手段を備え、選択された任意の領域のアドレスデータに基づいて、当該領域の画像を置換するようにしても良い。

【0043】また、以上の説明はオペレータが表示画面112を観察しつつ手動で操作する例を説明したが、これに限られる必要はなく、例えば特定の焦点像を他の画像と置換する工程を自動で行っても良い。

【実施例4】図9は、本発明の合成処理画像をリアルタイムに表示する場合の表示例である。901は、逐次合成されていく画像をワークステーション等の表示モニター上に分割して表示していき、その経過が比較的に分かるようにした表示例である。902は、モニター上に合成されていく画像の最新のものが1枚だけ表示される例

である。また、これらの画像を観察しながら、必要とする部分の焦点があった画像が得られた時に図1の制御用計算機111に接続される入力手段113からの入力により画像取得から表示までの一連の動作を止める機能を備えている。

【0044】このように構成することによって、画像取得に関係のない無駄な電子線照射を行わなくて済み、目的とする部分の自動焦点制御を効率よく最短の時間で行うことができる。

【実施例5】図10は、本発明の合成画像を使い測長を行う場合の実施例である。半導体の形状を測長する機能を有する走査電子顕微鏡に本発明の合成画像を作成する機能を搭載することでその機能を使用し、合成画像上で形状の測定が可能となる。

【0045】また、ある特定の焦点の画像を選択し、その中から或る一定以上のフォーカス評価値を示す画素を選択的に読み出し、当該画素に基づいて測長を行うことも可能である。このように構成することによって例えばコンタクトホルルの底部のみの画像を選択的に読み出し、その像に基づいて測長を行うことによって、コンタクトホルルのエッジの取り違いによる測長ミスをなくし、高精度な測長を実現することが可能になる。

【実施例6】図12は、本発明の合成画像上の任意の2点間の高さ方向の違いをその画素の元画像が撮影された時の励磁電流の差から算出する場合の概略図である。1201の合成画像上の2点、g1とg2間の高さ方向の距離を求める場合は、その画素が1202の元画像のどこに存在したかを調べる。g1が元画像の2に存在し、g2が元画像の5に存在した場合、図13の励磁電流と焦点距離の関係から元画像2の励磁電流に対応する焦点距離d2と元画像5の励磁電流に対応する焦点距離d5の間隔 Δd からg1とg2の2点間の高さ方向の距離を算出できる。

【0046】図15は、表示装置上でg1、g2を指定するためのGUI (Guide UserInterface) 画面を例示したものである。このGUI画面上には、ポインティングデバイスによって移動可能なカーソル1401と、測長結果の表示欄1501が設けられている。カーソル1401によってg1、g2を指定できるようにすれば、オペレータは例えばコンタクトホルルの像を観察しつつ、試料表面とコンタクトホルル底を指定することができ、これによってコンタクトホルルの深さを測定することが可能になる。

【0047】本発明実施例の構成によれば、2次元像によってg1、g2を設定すべき個所（深さ方向の測定のための基準となる位置）を正確に把握でき、2次元像では判断のつきにくい試料の深さ方向の寸法を正確に測定することが可能になる。図15に示す例の場合、g1が試料表面、g2がコンタクトホルル底に設定されているので、試料表面を基準としたコンタクトホルルの形成深

さを正確に測定することができる。

【0048】なお、以上の説明では寸法測定の基準となるg1とg2の2点を指定する例について説明したが、これに限られることはない。g1、g2の他に更にg3を設定し得るようにしても良い。その上でg1とg2の間、及びg1とg3の間の寸法差を計測するようなシーケンスを組み込むことによって、例えば2つのコンタクトホールの深さの比較を行うことができる。本例の場合、2つのコンタクトホールの何れもが同じg1を基準として深さ測定を行うことになるので、正確にコンタクトホールの形成深さの比較を行うことができる。

【0049】なお、本実施例装置は試料102、或いは試料を配置するための試料台101に負電圧を印加し、接地電位である電子レンズ106との間に電界を形成することで照射電子線の試料への到達エネルギーを減速する減速電界形成技術を採用することができる(図示せず)。

【0050】この技術(以下リターディング技術とする)は、電子レンズ106の中を高加速で電子線を通過させることによる色収差の低減と、試料に到達する電子線を低加速にすることによるチャージアップの防止を両立させる技術である。

【0051】リターディング技術が採用された走査電子顕微鏡では、上述したように試料に負電圧が印加されるが、この印加された負電圧を調節することによっても、電子線の焦点を調節することができる。本発明の実施にあたって、試料に印加する負電圧を段階的に変化させ、その都度得られる画像を記憶させていくようにしても良い。この場合、印加される負電圧の大きさによって焦点距離を決定することができる。

【0052】また、他にも電子線の光軸を包囲するように、正の電圧を印加できる部材(円筒電極等)を設けておき、当該部材に印加する電圧を調節することによっても同様のことが実現できる。この部材は言わば静電レンズである。

【実施例7】図18は、本発明の一実施例である同時に検出された異種信号を使い焦点合致度を判定した合成処理の概略図である。走査型電子顕微鏡装置の場合、同時に検出できる異種の信号として2次電子と反射電子がある。通常のSEM画像は、2次電子を使用しているが、試料の別の情報を得るために反射電子を使用する場合がある。

【0053】もし、反射電子の全焦点画像を作成する場合に、反射電子の信号が微弱でフォーカスの異なる各々の反射電子画像のS/Nが悪いと焦点合致の判定を反射電子画像に微分やソーベルフィルタを施した画像からは良好に行えない場合がある。その場合、焦点合致の判定を2次電子画像で行い、合成には、反射電子画像を使う方法をとる。1801、1802は、フォーカスを変えて同時に撮影された複数枚の反射電子画像と2次電子画

像である。したがって、1801上のg1'と1802上のg1は、信号強度は異なるが試料上は同一の位置である。1803は、1802のそれぞれの2次電子画像にソーベルフィルタを施した画像である。

【0054】1803の複数枚の画像の同一座標上の画素Sg1～Sg5を比較し、その中で一番大きい画素を検出する。それがSg2であるとする、合成画像の同一座標の画素へSg2の元画像の画素値g2と同時に取得された反射電子画像の画素値であるg2'を投影する。この過程を画像上の全座標に対して行うことで、1803の反射電子の合成画像が作成できる。

【0055】図19は、特徴量比較において一つの信号では、比較が良好に行えない場合、同時に検出された別の異種信号を比較し、合成を行った場合の画像例である。図18では、反射電子画像の合成に2次電子画像を使用した例であるが、図18において焦点合致の判定に通常は、反射電子画像を使い、焦点合致の判定が反射電子画像からでは良好に行えない場合、補助的に2次電子画像を利用するようにする。

【0056】つまり、図19における1901の領域は、焦点合致度を第1段の反射電子画像から判定できた領域であり、1902の領域は、焦点合致を第1段の反射電子画像から判定できず、第2段の2次電子画像から判定できた領域である。

【0057】図20は、本発明が適用される複数の検出器を持つ走査電子顕微鏡を示す図である。2001から2014は、図1の101から114に対応する。電子ビーム2014は、走査コイル2005によって試料2002上を走査され、試料2002から発せられた複数の異種電子、例えば2次電子と反射電子は、2次電子が検出器2003で検出され、反射電子が2015で検出される。検出器2003及び2015からの信号S1がAD変換器2007に入力されてデジタル信号S2へと変換される。

【0058】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、試料像全体、或いは特定の二次元領域で試料表面の凹凸等に依らず、焦点が合致した試料像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】走査電子顕微鏡の構成概略図。

【図2】電子レンズの条件を変化させた場合のフォーカス評価値の変化を示す図。

【図3】本発明が解決する問題点である焦点変動を説明するための図。

【図4】本発明の合成作成を説明するための概略図。

【図5】本発明の焦点合致部分の抽出と合成画像作成の処理フロー。

【図6】本発明の焦点合致部分の抽出と合成画像作成の別の処理フロー。

【図7】本発明の焦点合致部分の抽出と合成画像作成の

別の処理フロー。

【図 8】本発明の一実施例である画像取得と焦点合致部分の抽出と合成画像の作成を並列に行う処理フロー。

【図 9】本発明の合成処理画像をリアルタイムに表示する場合の表示例を示す図。

【図 10】本発明の合成画像を使い測長を行う場合の実施例。

【図 11】本発明の合成処理の概略図。

【図 12】本発明の合成画像上の任意の 2 点間の高さ方向の違いを算出する場合の概略図。

【図 13】励磁電流と焦点距離の関係を示す図。

【図 14】本発明実施例装置の表示装置の表示例を示す図。

【図 15】本発明実施例装置の GUI 画面を例示した図。

【図 16】凹凸輪郭の検出方法を示す図。

【図 17】凹凸輪郭検出に基づく合成結果を示す図。

【図 18】同時に検出された異種信号を使い焦点合致度を判定した合成処理の概略図。

【図 19】特徴量比較を複数の異種信号で行い合成した画像例。

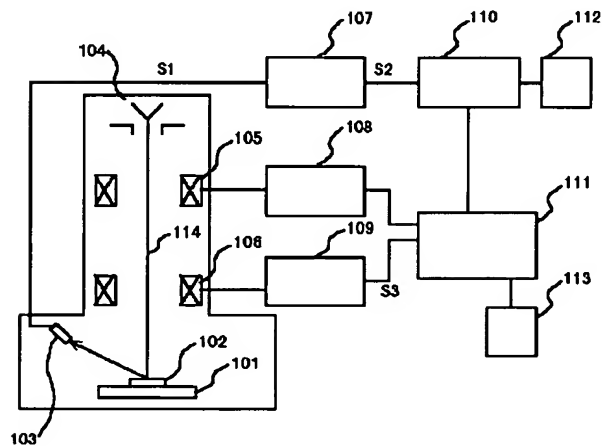
【図 20】複数の検出器を持つ走査型電子顕微鏡の構成概略図。

【符号の説明】

101…試料台、102…試料、103…検出器、104…陰極、105…走査コイル、106…電子レンズ、107…AD変換器、108…走査コイル制御回路、109…レンズ制御回路、110…画像処理プロセッサ、111…制御用計算機、112…表示装置、113…入力手段、114…電子ビーム。

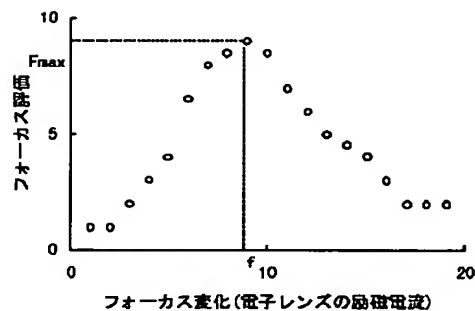
【図 1】

図 1



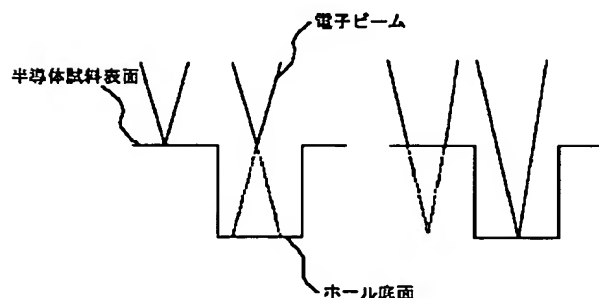
【図 2】

図 2



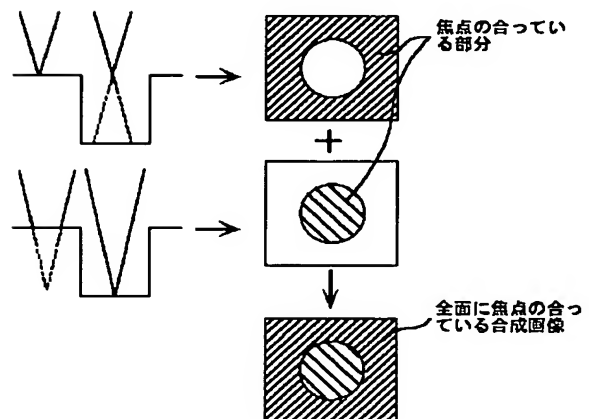
【図 3】

図 3



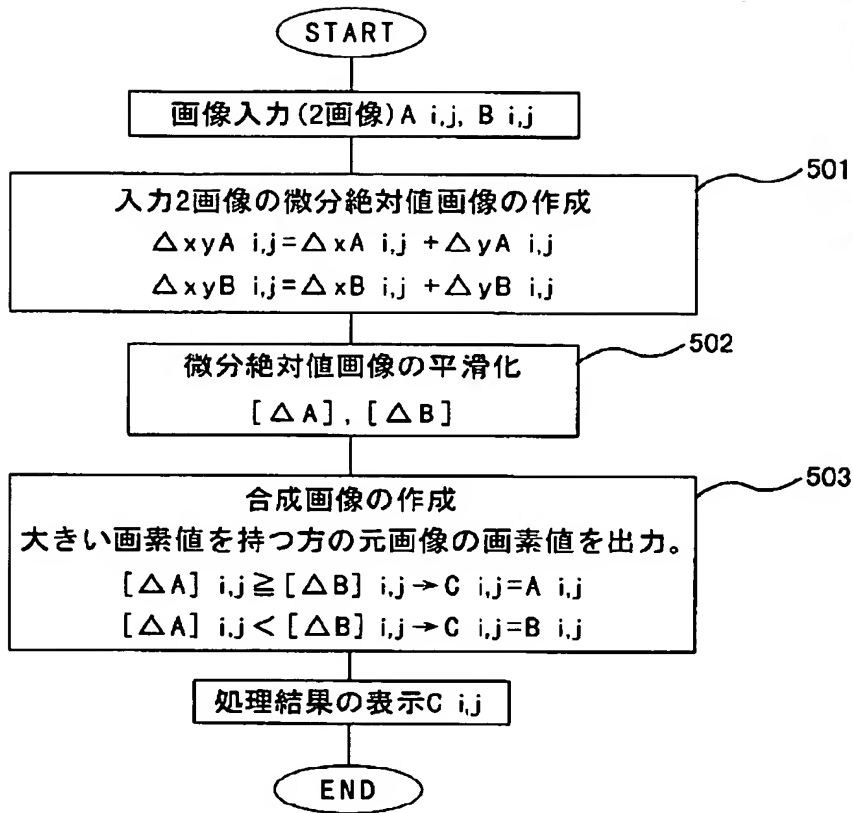
【図 4】

図 4



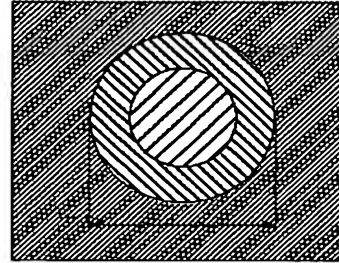
【図5】

図 5



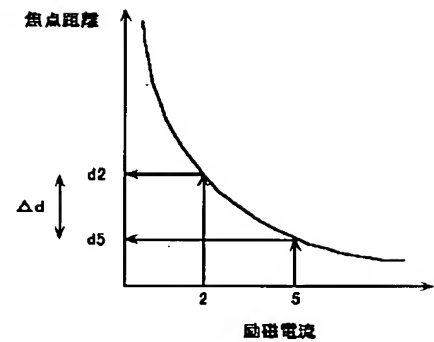
【図10】

図 10



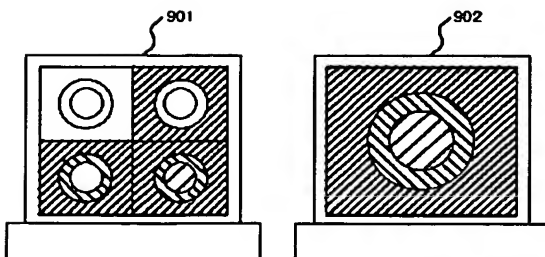
【図13】

図 13



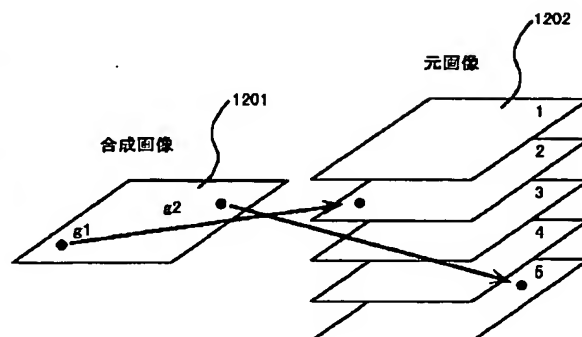
【図9】

図 9



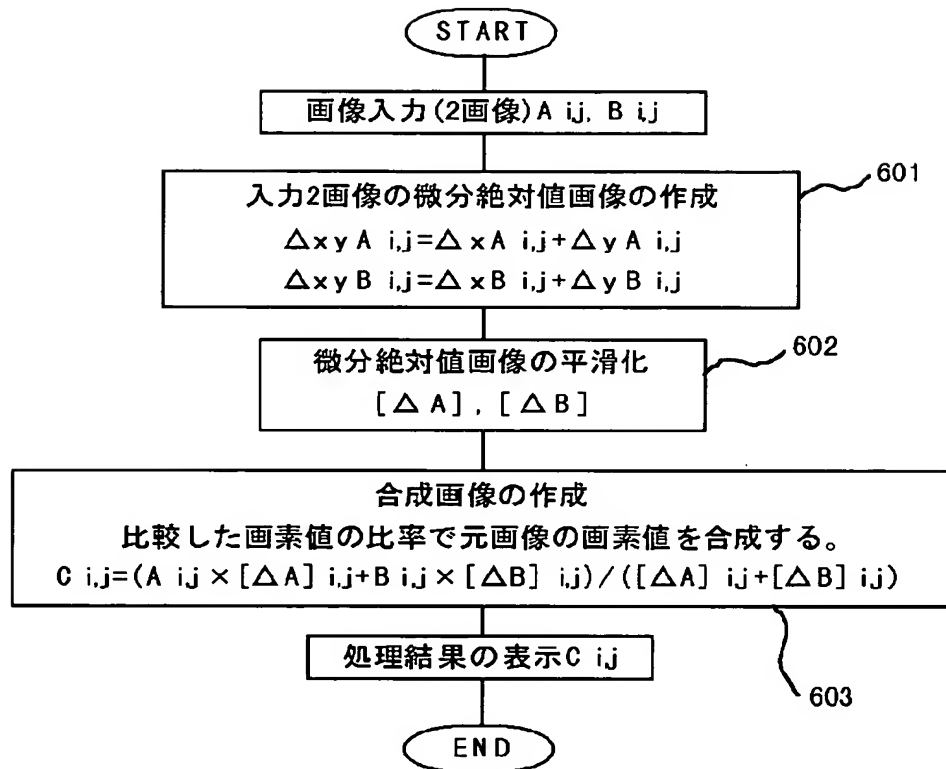
【図12】

図 12



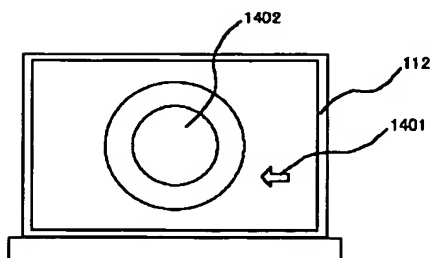
【図6】

図 6



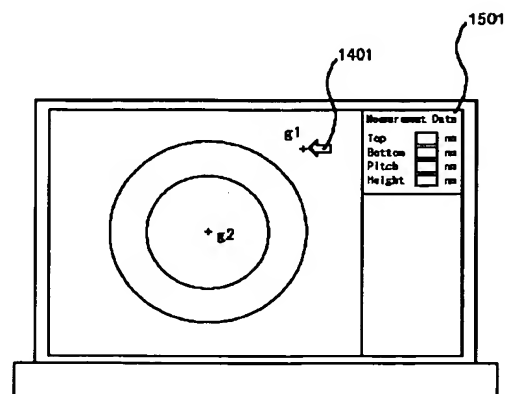
【図14】

図 14



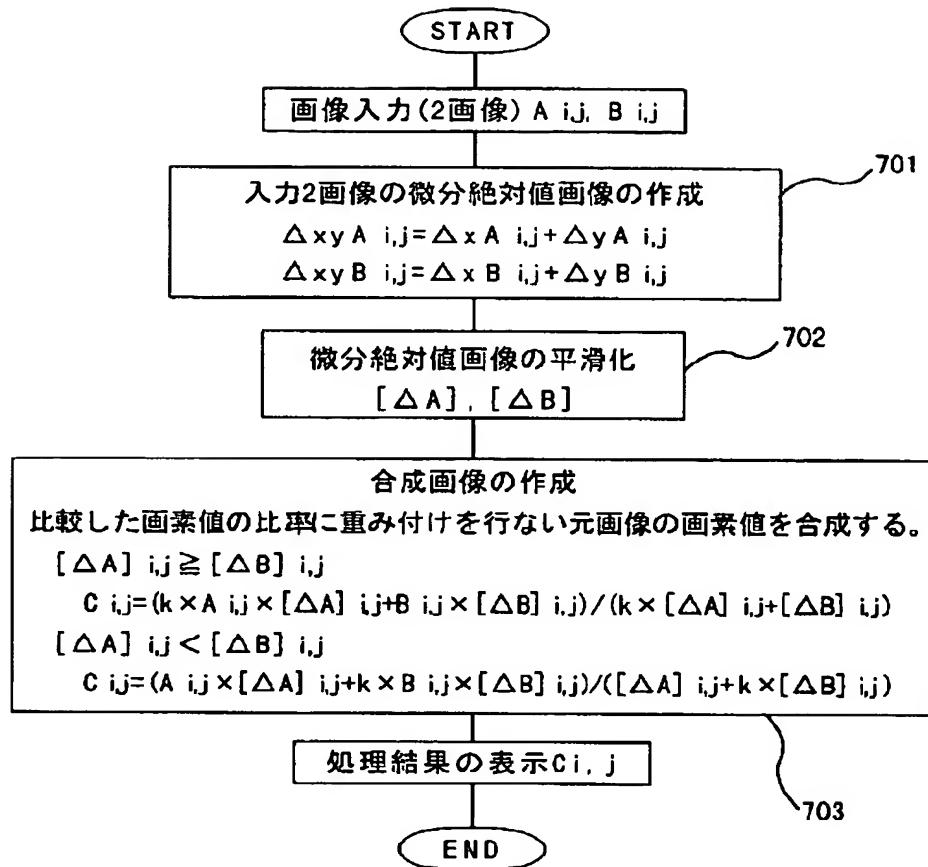
【図15】

図 15



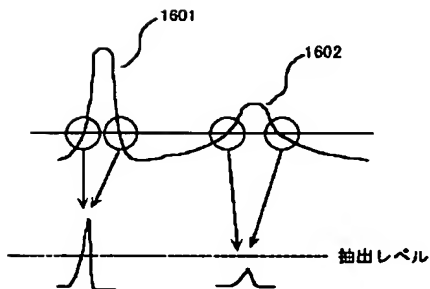
【図7】

図 7



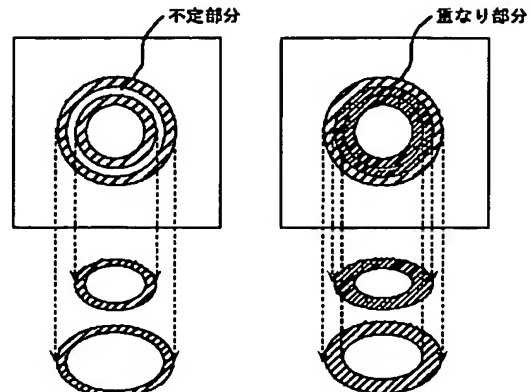
【図16】

図 16



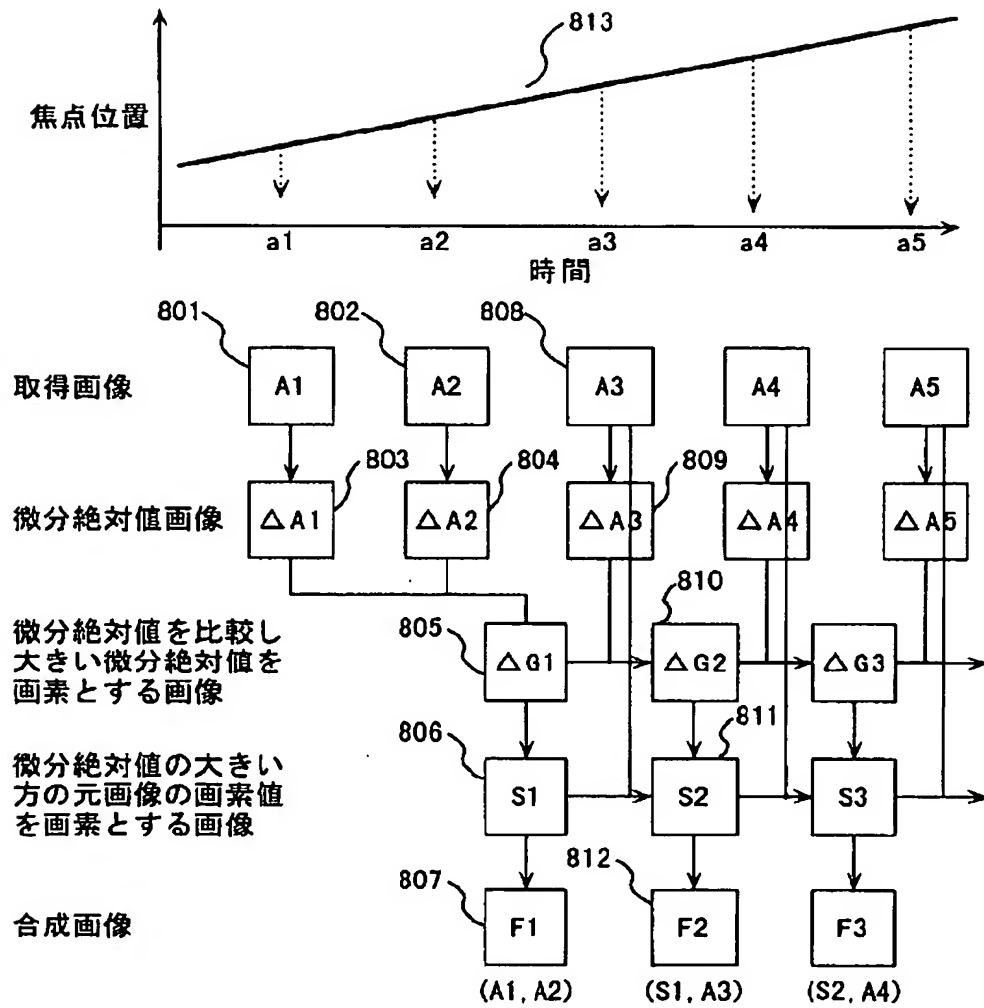
【図17】

図 17



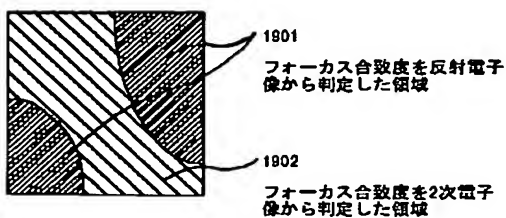
【図8】

図 8



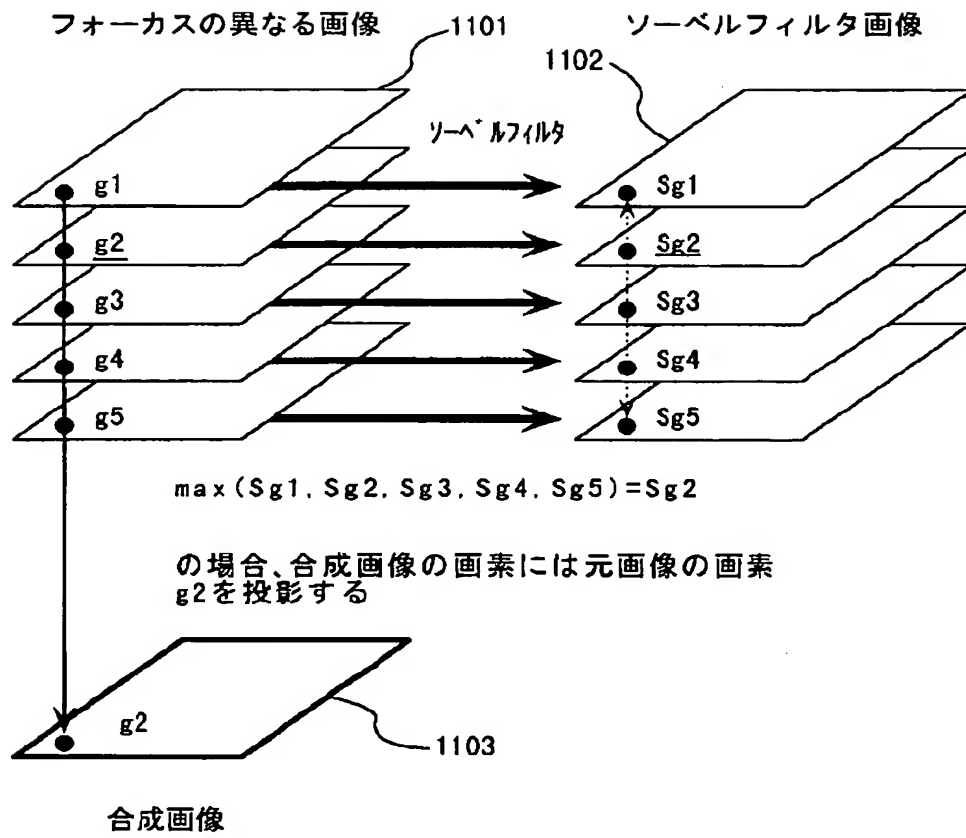
【図19】

図 19



【図11】

図 11



【図20】

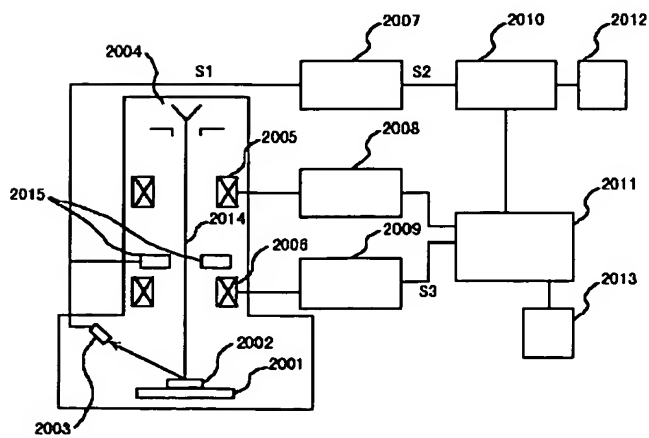
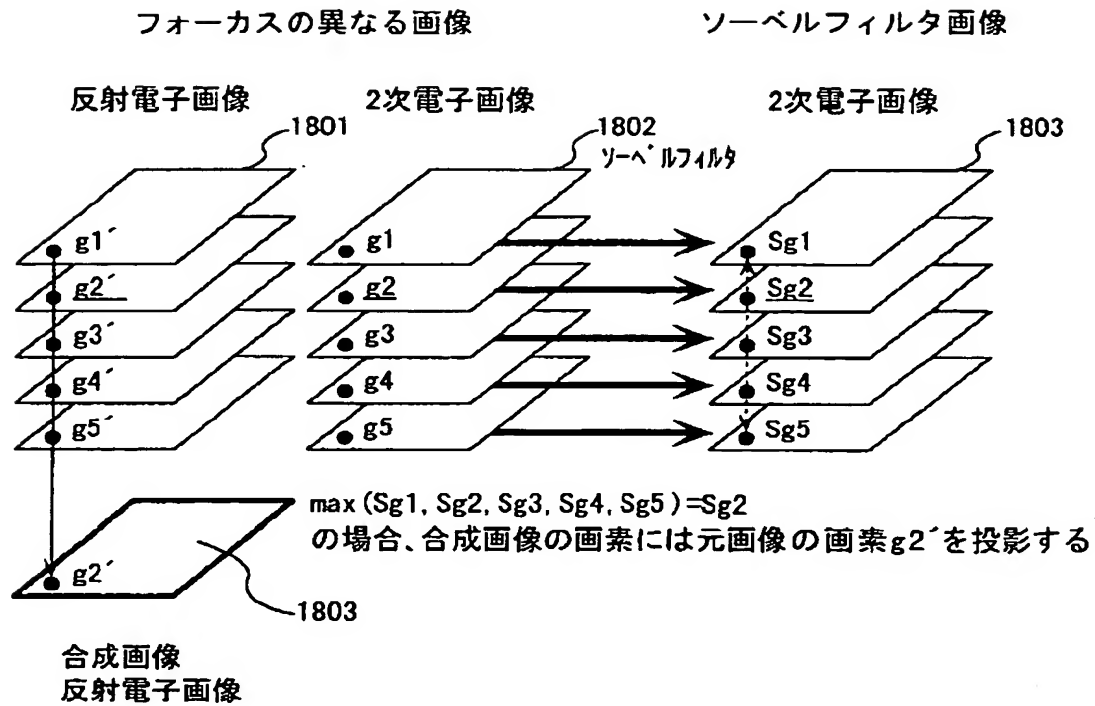


図 20

【図18】

図
18

フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード (参考)

H 0 1 J 37/28

H 0 1 J 37/28

B

H 0 1 L 21/66

H 0 1 L 21/66

J

H 0 4 N 1/387

H 0 4 N 1/387

(72) 発明者 戸所 秀男

(72) 発明者 佐藤 貢

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株

式会社日立製作所計測器グループ内

式会社日立製作所計測器グループ内